

早稲田大学大学院理工学研究科

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

各種工業製品の環境配慮設計・運用技術に関する研究

A Study on Design and Operation for Environment
of Industrial Products

申 請 者

氏 名

小野田	弘士
Hiroshi	Onoda

専攻・研究指導
(課程内のみ)

機械工学専攻 熱工学研究

2005 年 12 月

大量生産・大量消費・大量廃棄型の経済システムが進行している日本をはじめとする先進諸国においては、廃棄物の処理処分・リサイクルが社会問題となっており、環境配慮型社会の構築が急務となっている。このような状況のなか、わが国において 2000 年は、資源循環型社会形成基本法やグリーン調達法をはじめとする 6 つの法律の制定・改定が行われ、資源循環型社会元年として記憶されるようになった。これらのうち、循環型社会形成推進法の中では、生産者が、自ら生産する製品について使用され、廃棄物となった後まで一定の責任を有する拡大生産者責任（Extend Producer Responsibility, EPR）の一般原則が明記された。こうした背景から、各種工業製品の製造事業者には、3R、すなわち、Reduce（廃棄物の発生抑制）、Reuse（製品・部品の再使用）、Recycle（再資源化）等を考慮した環境配慮設計（Design for Environment, DfE）の導入が要請されている。

一方、エネルギーの使用に起因する二酸化炭素等の温室効果ガスの排出による地球温暖化も人類の生活基盤に影響を及ぼす恐れがある重大な問題となっている。1979 年に制定され、1999 年 12 月に改正された「エネルギーの使用の合理化に関する法律」（改正省エネ法）においては、自動車やエアコン、冷蔵庫などの指定機器に対する省エネルギーの基準目標に関して、いわゆるトップランナー方式が本格的に導入されることとなった。これにより、新しい省エネルギー技術の開発のみならず、ESCO（Energy Service Company）事業のように、施設や機器等の省エネルギーを第三者が診断し、支援するという新しいサービス業も生まれている。

以上のように、工業製品においては、その設計・製造、使用・運用、廃棄・リサイクル等のライフサイクル全般にわたって環境に配慮した取り組みを行うことの重要性が増している。

そのなかで、最も上流側の対応として、環境配慮設計の適用は極めて重要である。家電製品、OA 機器、自動車などの製品では、使用時の省エネルギー化とともに解体性の向上や再生材の活用、使用素材のマーキングなどの環境配慮設計の導入が進んできている。環境配慮設計を推進していくうえでは、その効果を適切に評価していくことが重要であり、さまざまな評価手法が提案されている。従来製品からの改善度を項目ごとに評点法で評価する方法や使用素材の統一化を構成素材エントロピーで評価する方法などである。また、リユース、リサイクルを考慮する際に重要となる解体性に対しては、結合方式の難易を評点で表す方法や解体の所用時間による評価方法がある。さらに、製品のライフサイクルにおける環境影響を定量的に評価するライフサイクルアセスメント（Life Cycle Assessment, LCA）も環境配慮設計の評価手法として注目されている。しかしながら、LCA も含め、現在提案されている各種の評価方法は、対象製品が限定されていること、評価のためのデータが膨大で、煩雑な作業を必要とすることなどの課題があり、種々の工業製品に対して適用可能な標準性・汎用性がある手法は確立されていない。環境配慮設計

の概念を様々な製品に拡大していくためには，こうした点に配慮した利便性の高い定量評価手法の開発が必須である．

また，ライフサイクルにおける環境負荷の削減を実現するには，環境配慮設計の導入のみならず，機器の設計・生産・運用段階における情報を管理・収集した上で、それらを解体・分別・リサイクル工程との連携関係のなかで効率的に活用する総合的なプロセスの構築が重要となる．製品・機器の運用情報や保守・管理情報は，省エネルギー化に貢献するのみならず，解体・分別工程での作業の効率化や設計段階での部品や素材の選定にもフィードバックできる可能性を有する．しかしながら，こうした総合的なライフサイクル管理システムが構築されている製品は，現在のところほとんど見当たらない．設計・生産段階における環境配慮設計の導入および ESCO 事業に見られるような使用・運用段階における省エネルギー化に向けた取り組み，各種リサイクル法の施行によって要請されている適正な使用後処理など，ライフサイクルの各段階での個別の取り組みは行われているものの，それを一貫した情報管理に基づいて実施されている仕組みは整っていない．

そこで，本研究では，設計段階で簡便に活用可能な標準性・利便性の高い環境配慮設計の評価手法を開発するとともに，総合的なライフサイクル管理システムの構築を試みる．これによって，ライフサイクル全般にわたる環境負荷削減を支援する環境配慮設計・運用技術を開発すること目標とする．以下に，個別の研究項目の目的を記す．

- (1) 環境配慮設計の定量評価手法として，さまざまな工業製品に適用可能な易解体性の定量的な評価手法を開発する．
- (2) 製品の設計段階で容易に活用できるような標準性・利便性の高い環境負荷評価手法を開発する．
- (3) 今後，環境配慮設計の導入が必要とされている工業製品のうち，汎用ポンプを例として取り上げ，環境配慮設計を具現化する．解体性の向上や発展的な構造変更を可能とする“成長”する製品の概念を導入した環境配慮型汎用ポンプを設計・試作し，その環境配慮性を、上記(1)および(2)で開発した手法により定量的に評価する．
- (4) IC タグシステムを核とした設計・製造，使用・運用，廃棄・リサイクルの製品のライフサイクル全般にわたる総合的な管理システムを開発する．とりわけ，汎用ポンプや自動販売機といった使用・運用段階における環境負荷が大きい工業製品を例として取り上げ，その運用管理の高度化による環境負荷削減の方策を検討する．

本論文は，6 章から構成されている．

第 1 章では，本研究の背景，目的を明らかにするとともに環境配慮設計，LCA，家電製品・事務機器・汎用産業機器・営業機器などの各種工業製品における環境への取り組みの現状など、従来の研究および動向について述べる．

第 2 章では，環境配慮設計の重要な要素である易解体性の定量評価手法に

ついて述べている．製品の易解体性を定量的に評価する「分解性評価指数」を提案し，その定義および適用事例を示す．電子・事務機器，家電製品，縫製機器，福祉用具などを対象として，分解性評価指数による解体解析を行い，本指標の有効性を示すとともに各種製品に対する易解体設計の具体的例を提案した．これらの検討を通じて，さまざまな製品の解体データを体系的に整理し，製品の設計段階で入手可能な情報のみで分解性評価ができるよう，手法の高度化を図った．また，分解性評価指数と解体フロー，3D アニメーションを連携させた解体支援ソフトウェアを開発した．

第 3 章では，設計段階において比較的簡便に活用でき，LCA 的な観点を有する環境負荷評価手法として開発した「環境効用ポテンシャル評価手法 (Eco-Efficiency Potential Assessment Method, E2-PA)」について述べる．E2-PA は，「環境効率」と「ポテンシャル評価」を考え方の基礎としており，従来の LCA 手法の煩雑性を排除した標準性・利便性の高い手法である．E2-PA における環境負荷の統合評価の考え方とその特長を整理するとともに，テレビやパーソナルコンピュータを例として評価を実施し，E2-PA の有用性を示した．

第 4 章では，2 章および 3 章で得られた知見を活用し，環境配慮設計を導入した環境配慮型汎用ポンプの設計・試作およびその評価を行った．具体的には，ステータ・ロータ等の資源として有用性の高い部品を含む電動機の解体性の向上に着目した．また，使用・運用段階で発展的な構造変更が可能な“成長”する製品の概念を導入した．試作ポンプの環境配慮について評価を行ったところ，分解性評価指数は約 20% 向上し，ライフサイクルあたりの環境負荷も約 35% 削減可能であることを E2-PA を適用することにより実施した．

第 5 章では，特殊 IC タグシステムによる工業製品のライフサイクル管理システムの開発およびその応用について述べている．まず，情報管理を行う媒体として，製品固有の識別情報だけでなく，機器の運用情報を定期的に収集・蓄積することが可能な特殊 IC タグシステムのハードウェア・ソフトウェアを開発した．さらに，汎用ポンプを例に，シミュレーションや実験および特殊 IC タグシステムの実証試験を通じて，省エネ診断，故障・劣化診断，使用履歴の予測が，開発したシステムによって可能であることを示した．また，運用情報管理システムの応用例として，自動販売機を取り上げ，本システムの適用可能性についても検討した．自動販売機の運用情報を解析することで，その稼動状態の把握や省エネ診断が可能であることを実測データに基づき示すとともに，売上に応じて最適な自動販売機の設置台数，容量を算出する最適配置診断システムを構築した．早稲田大学大久保キャンパスに設置されている 29 台の自動販売機を例にとると，運用の最適化を行うことで約 40% の省エネルギーが達成できることを示した．

第 6 章では，本論文のまとめとして，本研究で得られた成果を要約するとともに，今後の研究展望について述べている．

研 究 業 績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>環境配慮型汎用ポンプの設計とその評価、廃棄物学会論文誌 Vol.16 No.2 pp.119-129、2005・3、 小野田弘士、永田勝也、納富信、永井祐二、高田勉、中務幸正</p> <p>特殊 IC タグを用いた汎用産業機器の環境負荷情報管理システムの開発とその活用による製品設計 汎用ポンプを例として、環境情報科学論文集 No.18 pp.265-270、2004・11、 小野田弘士、永田勝也、納富信、永井祐二</p> <p>車いすの解体解析と易解体設計の提案、日本生活支援工学会誌 Vol.4 No.1 pp.19-28、2004・10、 小野田弘士、永田勝也、納富信、松永紀之</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（第2報、家庭用ミシンの解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）設計工学 Vol.39 No.1 pp.32-39、2004・1、 小野田弘士、永田勝也、納富信</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（第1報、各種工業製品の解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）設計工学 Vol.38 No.12 pp.648-654、2003・12、 小野田弘士、永田勝也、納富信</p> <p>Development of Eco-Efficiency Potential Assessment Method, International Conference Eco-Efficiency for Sustainability, 2004・4, Hiroshi ONODA, Katsuya NAGATA, Makoto NOHTOMI, Masahito AIZAWA（掲載決定）</p>
講演	<p>Environmental-friendly Technology for Production and Operation System of Industrial Machines, Proceedings of The Sixth International Conference on EcoBalance, pp.307-310, 2004・10, Hiroshi ONODA, Katsuya NAGATA, Makoto NOHTOMI, Yuji NAGAI, Tsutomu TAKADA, Tsuneo HAYAKAWA, Sadao KANAI</p> <p>早稲田大学大久保キャンパスにおける自動販売機の運用実態とその改善による省エネルギー、2005 年度日本冷凍空調学会年次大会講演論文集 A313-2-1- 4、2005・10、小野田弘士、永田勝也</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第7報：自動販売機への応用の検討）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.487 - 490、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、新見大、石崎尚武、山崎寛之</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第6報：環境情報システムの開発）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.483 - 486、2004・7、永田勝也、納富信、永井祐二、小野田弘士、新見大、石崎尚武、山崎寛之、高田勉、早川恒夫、金井貞夫</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第5報：汎用ポンプの解体解析と環境配慮型汎用ポンプの開発）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.479 - 482、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、永井祐二、深津祐介、佐藤広治、新見大、切川卓也、小川智勇、石崎尚武、山崎寛之、高田勉、中務幸正</p>

研 究 業 績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	<p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第4報：特殊 IC タグの開発とその実証試験）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.475 - 478、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、永井祐二、新見大、石崎尚武、山崎寛之、高田勉、中島薫、早川恒夫</p> <p>分解性評価指数の開発、日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.439 - 442、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、深津祐介、佐藤広治、切川卓也、小川知勇</p> <p>環境効用ポテンシャル評価手法の開発（製品の効用に関する検討と E2-PA ソフトウェアの開発）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.443 - 446、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、日比野壮、秦健宏、小野田哲也、愛澤政仁</p> <p>環境効用ポテンシャル評価手法の開発（有害物質資源強度 HI の作成）日本機械学会第14回環境工学総合シンポジウム2004 講演論文集 pp.447 - 450、2004・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、日比野壮、秦健宏、小野田哲也、愛澤政仁</p> <p>環境配慮型汎用ポンプの開発、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2003 pp.137-139、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、新見大、永井祐二、高田勉</p> <p>特殊 IC タグを活用した汎用ポンプの環境配慮型生産・運用技術の開発、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2003 pp.134-136、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、岩尾洋平、永井祐二、高田勉、中島薫、早川恒夫</p> <p>環境負荷評価による汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の有効性の検討、第14回廃棄物学会研究発表会講演論文集 2003 pp.131-133、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、岩尾洋平、永井祐二、高田勉、中務幸正</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（特殊 IC タグを活用した環境情報システムの開発とその有効性の検討）、第12回日本エネルギー学会大会講演要旨集 pp.452-453、2003・7、小野田弘士、永田勝也、納富信、岩尾洋平、秦健宏、永井祐二、高田勉、中島薫、中務幸正、早川恒夫、金井貞夫</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第3報：環境負荷評価による環境情報システムの有効性の検討）日本機械学会第13回環境工学総合シンポジウム2003 講演論文集 pp.398 - 401、2003・6、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、岩尾洋平、永井祐二、高田勉、中務幸正</p> <p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第2報：環境配慮型ポンプの設計手法の検討と3R情報管理システムの開発）日本機械学会第13回環境工学総合シンポジウム2003 講演論文集 pp.394 - 397、2003・6、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、岩尾洋平、永井祐二、高田勉、中務幸正、金井貞夫</p>

研 究 業 績

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	<p>汎用産業機器の環境配慮型生産・運用技術の開発（第1報：特殊 IC タグの開発とその記録情報の有効性の検討） 日本機械学会第 13 回環境工学総合シンポジウム 2003 講演論文集 pp.390 - 393、2003・6、永田勝也、納富信、小野田弘士、秦健宏、岩尾洋平、永井祐二、高田勉、中島薫、早川恒夫</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（車いすの解体解析） 第 13 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 pp.140 - 142、2002・11、永田勝也、納富信、小野田弘士、鹿浜敬文、松永紀之</p> <p>“ 成長 ” する製品の概念の提案（中古 PC と介護用ベッドを例に）、環境科学会 2002 年会一般講演・シンポジウムプログラム pp.22-23、2002・9、永田勝也、納富信、小野田弘士</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（車いすの解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）、日本機械学会第 12 回環境工学総合シンポジウム 2002 講演論文集 pp.183 - 186、2002・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、鹿浜敬文、松永紀之</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（福祉用具の解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）、日本機械学会第 12 回環境工学総合シンポジウム 2002 講演論文集 pp.179 - 182、2002・7、永田勝也、納富信、小野田弘士、鹿浜敬文、松永紀之</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（家庭用ミシンの解体解析） 第 12 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 pp.186 - 188、2001・10、永田勝也、納富信、松原仁志、小野田弘士</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（各種工業製品の解体解析） 第 12 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 pp.183 - 185、2001・10、永田勝也、納富信、松原仁志、小野田弘士</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（家庭用ミシンの解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）、日本機械学会第 11 回環境工学総合シンポジウム 2001 講演論文集 pp.277 - 280、2002・7、永田勝也、松原仁志、小野田弘士</p> <p>易解体性を考慮した設計手法の検討（各種工業製品の解体解析とそれに基づく易解体設計の提案）、日本機械学会第 11 回環境工学総合シンポジウム 2001 講演論文集 pp.273 - 276、2002・7、永田勝也、松原仁志、小野田弘士</p>